

Requested Patent: JP2000295145A

Title:

EQUALISER ON FEEDBACK OF WEIGHTED DECISIONS, AND CORRESPONDING EQUALISATION PROCESS ;

Abstracted Patent: EP1024631 ;

Publication Date: 2000-08-02 ;

Inventor(s): PALICOT M JACQUES (FR) ;

Applicant(s): TELEDIFFUSION FSE (FR); FRANCE TELECOM (FR) ;

Application Number: EP20000460012 20000131 ;

Priority Number(s): FR19990001654 19990129; FR19990001266 19990201 ;

IPC Classification: H04L25/03; H04L25/06 ;

Equivalents: FR2789243 ;

ABSTRACT:

The filtering and calculation of weighted coefficients enables error transmission to be minimised by transmitting a reliability function. The equaliser with return of decisions comprises a direct filter (FF, 11) and a recursive filter (FB, 12) whose filtering coefficients are determined (13) in such a way as to optimise a predetermined quality factor. The equaliser receives the input data (x), supplying the direct filter (FF) and providing the equalised data (y') corresponding to the sum of the outputs of the direct filter (FF) and the recursive filter (FB). The recursive filter (FB) is supplied by the weighted data (y-recursif), whose value takes account of the equalised data (y) and corresponding reliability information.

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-295145

(P2000-295145A)

(43)公開日 平成12年10月20日(2000.10.20)

(51)Int.Cl.⁷

H 04 B 7/005
// H 04 N 7/10

識別記号

F I

テマコード*(参考)

H 04 B 7/005
H 04 N 7/10

審査請求 未請求 請求項の数36 OL 外国語出願 (全 43 頁)

(21)出願番号	特願2000-21517(P2000-21517)	(71)出願人	591034154 フランス テレコム FRANCE TELECOM フランス国、75015 パリ、プラス・ダル レ、6
(22)出願日	平成12年1月31日(2000.1.31)	(71)出願人	500020450 テレディフュジオン・ドゥ・フランス フランス国、75732 パリ・セデクス 15, リュ・ドラドゥル・シュル・グラン 10
(31)優先権主張番号	9 9 0 1 6 5 4	(72)発明者	ジャック・バリコ フランス国、35000 レンヌ、リュ・ロブ ラン 15
(32)優先日	平成11年1月29日(1999.1.29)	(74)代理人	100099623 弁理士 奥山 尚一 (外2名)
(33)優先権主張国	フランス (F R)		
(31)優先権主張番号	9 9 0 1 2 6 6		
(32)優先日	平成11年2月1日(1999.2.1)		
(33)優先権主張国	フランス (F R)		

(54)【発明の名称】 決定帰還等化器及び決定帰還等化方法

(57)【要約】 (修正有)

【課題】品質基準が誤差伝搬現象によって乱されることなく、且つ従来技術と比較してあまり複雑でない決定帰還等化器を提供すること。

【解決手段】本発明による決定帰還等化器は、フィルタ係数が所定の品質基準を最適化するように決定されたフォワードフィルタ (FF) 11 及びフィードバックフィルタ (FB) 12 を備える。フォワードフィルタ 11 に入力される入力データ x を受信すると共に、フォワードフィルタ 11 の出力とフィードバックフィルタ 12 の出力との加算結果に対応する等化データ y' を出力する。重み付けデータ $Y_{feedback}$ はフィードバックフィルタ 12 に入力される。これらの重み付けデータの値は、等化データ y と、対応する信頼度とを考慮して決定される。こうした信頼度に依存する重み付けによって、誤差伝搬は効率的に減少する。

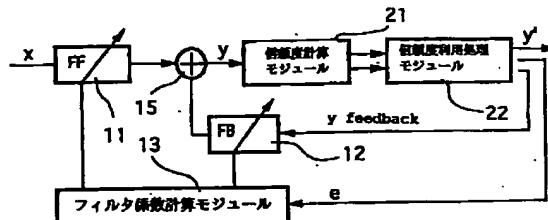


Fig. 2

【特許請求の範囲】

【請求項1】 フィルタ係数(13)が所定の品質基準を最適化するよう決定されたフォワードフィルタ(F F)(11)及びフィードバックフィルタ(F B)(12)とを備え、前記フォワードフィルタ(F F)に供給される入力データ(x)を受信し、前記フォワードフィルタ(F F)の出力と前記フィードバックフィルタ(F B)の出力との加算結果に対応する等化データ(y)を出力する決定帰還等化器において、前記等化データ(y)及び応する信頼度情報が考慮された値を有する重み付きデータ(Y_{feedback})が、前記フィードバックフィルタ(F B)に入力されるように構成されたことを特徴とする決定帰還等化器。

【請求項2】 前記所定の品質基準の最適化(13)においても前記信頼度情報が考慮されることを特徴とする請求項1に記載の決定帰還等化器。

【請求項3】 前記等化データにおける信頼度情報を計算する手段(21)による結果、及び、前記信頼度情報を利用する手段(22)による結果の双方が、前記フィードバックフィルタ(F B)に入力されることを特徴とする請求項1又は2に記載の決定帰還等化器。

【請求項4】 前記信頼度情報は、少なくとも、前記等化データと該等化データに対応する最尤シンボルとの間の距離(d)に依存していることを特徴とする請求項1乃至3の何れか1項に記載の決定帰還等化器。

【請求項5】 前記距離(d)は、少なくとも一つの閾値(d_{min})と比較され、前記等化データはその閾値処理の結果に基づいて処理されることを特徴とする請求項4に記載の決定帰還等化器。

【請求項6】 前記少なくとも一つの閾値は、反復によって最適化されることを特徴とする請求項5に記載の決定帰還等化器。

【請求項7】 唯一の閾値が使用され、前記フィードバックフィルタ(F B)に入力される前記重み付きデータは、

- 前記距離が前記閾値以下ならば、前記最尤シンボル、
- 前記距離が前記閾値以上ならば、前記等化データ、であることを特徴とする請求項5又は6に記載の決定帰還等化器。

【請求項8】 前記品質基準の最適化において、

- 前記距離が前記閾値以下ならば、前記最尤シンボルから前記等化データを引いた値、
- 前記距離が前記閾値以上ならば、ゼロ、に等しい誤差が最小化されることを特徴とする請求項2又は7に記載の決定帰還等化器。

【請求項9】 前記距離は、独立に扱われる2つの成分に分けられることを特徴とする請求項2又は8に記載の決定帰還等化器。

【請求項10】 d x⁺, d y⁻, d x⁻, d y⁺を、前記

等化データと、その内部でデータが前記最尤シンボルに関連付けられる領域を画定する境界との間のx軸とy軸に沿った4つの距離とし、△を前記境界と前記最尤シンボルとの間の距離とすると、

前記信頼度情報は、

$$C_y = \text{Min}(d x^+, d y^-, d x^-, d y^+) / \Delta$$

に等しいことを特徴とする請求項4に記載の決定帰還等化器。

【請求項11】 y' を前記最尤シンボル、yを前記等化データ、g及びg'を所定関数とすると、

前記フィードバックフィルタ(F B)に供給される前記重み付きデータは、

$$Y_{\text{feedback}} = g(C_y) \cdot y' + (1 - g')(C_y) \cdot y$$

であることを特徴とする請求項10に記載の決定帰還等化器。

【請求項12】 前記関数g及びg'のうちの少なくとも一つは、恒等関数であることを特徴とする請求項11に記載の決定帰還等化器。

【請求項13】 前記所定の関数g及びg'のうちの少なくとも一つは、高い信頼度の効果を増大し、低い信頼度の効果を減少させる関数であることを特徴とする請求項12に記載の決定帰還等化器。

【請求項14】 前記所定の関数g及びg'のうちの少なくとも一つは、S字型関数であることを特徴とする請求項12に記載の決定帰還等化器。

【請求項15】 前記所定の関数g及びg'は、同一の関数であることを特徴とする請求項13又は14に記載の決定帰還等化器。

【請求項16】 前記品質基準の最適化において、y'を前記最尤シンボル、yを前記等化データ、gとg'を所定関数とすると、

$$\text{誤差} = f(C_y) \cdot (y' - y)$$

であることを特徴とする請求項13乃至15の何れか1項に記載の決定帰還等化器。

【請求項17】 前記所定の関数fは、恒等関数であることを特徴とする請求項16に記載の決定帰還等化器。

【請求項18】 前記所定の関数fは、高い信頼度の効果を増大し、低い信頼度の効果を減少させる関数であることを特徴とする請求項16に記載の決定帰還等化器。

【請求項19】 前記所定の関数g及びg'のうちの少なくとも一つは、S字型関数であることを特徴とする請求項18に記載の決定帰還等化器。

【請求項20】 使用される前記2つの距離は、それぞれ、2つの直交軸に沿ってそれぞれ定義された2つの成分であることを特徴とする請求項4乃至19の何れか1項に記載の決定帰還等化器。

【請求項21】 d x⁺, d y⁻, d x⁻, d y⁺を、前記等化データと、その内部でデータが前記最尤シンボルに関連付けられる領域を画定する境界との間のx軸とy軸

に沿った4つの距離とし、 Δ を、前記境界と前記最尤シンボルとの間の距離とすれば、
前記信頼度情報は、

$$CI_y = \min(d_{x^+}, d_{x^-}) / \Delta$$

$$CQ_y = \min(d_{y^+}, d_{y^-}) / \Delta$$

によって与えられる2つの成分(I , Q)に分けられることを特徴とする請求項20に記載の決定帰還等化器。

【請求項22】 yI' 及び yQ' を前記最尤シンボルの2つの成分、 yI 及び yQ を前記等化データの2つの成分、 g_1 、 g_2 、 g_3 、 g_4 を所定の関数とすれば、前記フィードバックフィルタ(FB)に入力される前記重み付きデータは、

$$Y_{\text{feedback}} I = g_1(CI_y)yI' + (1-g_2(CI_y))yI,$$

$$Y_{\text{feedback}} Q = g_3(CQ_y)yQ' + (1-g_4(CI_y))yQ,$$

で与えられる2つの成分に分けられることを特徴とする請求項21に記載の決定帰還等化器。

【請求項23】 前記所定の関数 g_1 、 g_2 、 g_3 、 g_4 の少なくとも一つは、恒等関数であることを特徴とする請求項22に記載の決定帰還等化器。

【請求項24】 前記所定の関数 g_1 、 g_2 、 g_3 、 g_4 の少なくとも一つは、高い信頼度の効果を増大し、低い信頼度の効果を減少させる関数であることを特徴とする請求項22に記載の決定帰還等化器。

【請求項25】 前記所定の関数 g_1 、 g_2 、 g_3 、 g_4 の少なくとも一つは、S字型関数であることを特徴とする請求項24に記載の決定帰還等化器。

【請求項26】 記所定の関数 g_1 及び g_2 、及び/又は g_3 及び g_4 は、同一の関数であることを特徴とする請求項23乃至25の何れか1項に記載の決定帰還等化器。

【請求項27】 前記品質基準の最適化において、 f_1 及び f_2 を所定の関数としたときに、

$$\text{誤差} I = f_1(CI_y) \cdot (yI' - yI), \text{及び}$$

$$\text{誤差} Q = f_2(CQ_y) \cdot (yQ' - yQ),$$

が最小化されることを特徴とする請求項22乃至26の何れか1項に記載の決定帰還等化器。

【請求項28】 前記所定の関数 f_1 及び f_2 の少なくとも一つは、恒等関数であることを特徴とする請求項27に記載の決定帰還等化器。

【請求項29】 前記所定の関数 f_1 及び f_2 の少なくとも一つは、高い信頼度の効果を増大し、低い信頼度の効果を減少させる関数であることを特徴とする請求項27に記載の決定帰還等化器。

【請求項30】 前記所定の関数 f_1 及び f_2 の少なくとも一つは、S字型関数であることを特徴とする請求項29に記載の決定帰還等化器。

【請求項31】 前記所定の関数 f_1 及び f_2 は、同一の関数であることを特徴とする請求項28乃至30の何

れか1項に記載の決定帰還等化器。

【請求項32】 前記等化データと該等化データに対応する最尤シンボルとの間の距離(d)を考慮して前記信頼度情報を計算する第1の手段と、

- d_{x^+} , d_{y^+} , d_{x^-} , d_{y^-} を、前記等化データと、その内部でデータが前記最尤シンボルに関連付けられる領域を画定する境界との間のx軸とy軸に沿った4つの距離とし、 Δ を、前記境界と前記最尤シンボルとの間の距離とすると、

$$C_y = \min(d_{x^+}, d_{y^+}, d_{x^-}, d_{y^-}) / \Delta$$

によって与えられる前記信頼度情報を計算する第2の手段と、を備えたことを特徴とする請求項4乃至9の何れか1項、又は請求項10乃至31の何れか1項に記載の決定帰還等化器。

【請求項33】 前記等化データは、前記最尤シンボルによって画定されるコンステレイションの外側に位置する場合には、異なった処理をされることを特徴とする請求項4乃至32の何れか1項に記載の決定帰還等化器。

【請求項34】 前記コンステレイションの外側のデータは、該コンステレイションの最も接近した辺上に投影されることを特徴とする請求項33に記載の決定帰還等化器。

【請求項35】 前記投影後に、重み付きデータ項目は、前記コンステレイション内に位置するデータに対する方法と同じ方法で決定されることを特徴とする請求項34に記載の決定帰還等化器。

【請求項36】 入力データをフォワードフィルタ(FF)(11)に通すステップと、

- フィードバックフィルタ(FB)(12)に通すステップと、

- 前記フォワードフィルタ(FF)の出力と前記フィードバックフィルタ(FB)の出力との加算結果(15)に対応する等化データ(y')を出力するステップと、

- 前記フォワードフィルタ(FF)及び前記フィードバックフィルタ(FB)のフィルタ係数を決定(13)するステップと、を備えた決定帰還等化方法において、

- 前記等化データ項目のそれぞれに割り当てられた信頼度を表す情報を決定(21)するステップと、

- 前記等化データ(y')及び前記信頼度情報を考慮して、前記フィードバックフィルタ(FB)へ重み付きデータ(Y_{feedback})を出力するステップと、を有することを特徴とする決定帰還等化方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、デジタル信号が外乱状態の送信チャネルを介して送信されるときの受信技術に関する。本発明は、特に、このタイプの信号の等化技術(イコライゼーション)に関する。

【0002】

【従来の技術】デジタル信号受信機は、受信アンテナに接続された無線周波数（RF）ヘッド、アナログ・デジタル変換器、等化器（イコライザ）、及びチャネル復号器から成る直列接続されたモジュールに分解できる。チャネル復号器の役割は、信号送出中に使用される対応する符号化の関数として、ノイズに対して送信性能を改善することにある。

【0003】等化器の目的は、送信チャネルに帰因する不完全性（例えば、エコーや減衰など）を克服することである。換言すれば、その目的は、受信した信号をフォーマットすること、又は従来の「アイ・ダイアグラム（eye diagram）」を参照して「オーブン・アイする（open the eye）」ことである。

【0004】等化器は、3つの要素、すなわち、

- ・ 一つ以上のフィルタ、
- ・ 品質基準（quarity criterion）、
- ・ フィルタ係数の計算アルゴリズム、

に基づいている。

【0005】このアルゴリズムは、フィルタリングを最適化する係数を決定する（換言すれば、例えばもし品質基準がアイ・アパート（eye aperture）ならばそれ（フィルタリング）を最大化し、あるいは、もし品質基準が2乗平均平方根（RMS）誤差ならばそれを最小化するので、それ故に等化器も最適化される）。それ故に、従来では、等化器は閉ループの使用に基づいている。

【0006】等化器の使用に応じて、等化器は以下のようないくつかの主なタイプに区別され得る。

— 適応型等化器

品質基準は、受信器において既知でありかつ送信機によって送信されるリファレンス（参照）から決定される（明らかに、有用な処理量を損なう）。

— 自己適応（又は自己教示又は「ブラインド」）型等化器

リファレンス（例えば、「判定主導型」操作（"decision directed" operation）においてリファレンスとして使用される復号化後の判定値（decisions））を必要としない。

【0007】また、下記のような3つの主な等化器構造に区別することも可能である。

— 従来のトランスポンダーフィルタに対応する有限パルス応答（FPR）フィルタ

— 「フォーワード」FPRフィルタと等化器の出力に折り返し接続（loop back）されたフィードバックFPRフィルタとを使用する線形無限パルス応答（線形 IPR）フィルタ

— 受信データの値に対してなされる判定（判定値はフィードバックフィルタに入力されている）を考慮する非線形無限パルス応答（非線形 IPR）フィルタ

【0008】より正確には、本発明は、従来より決定帰還等化器（又は決定帰還形等化器）（DFE；Decision Feedback Equalizer）と呼ばれているこの後者のタイプの等化器に関連している。等化器の動作は2つの段階、すなわち、最初の収斂段階（convergence phase）（リファレンスは使用されてもされなくてもよい）と次の追跡段階（trackingphase）とに分けられる。

【0009】本発明は、追跡段階と収斂段階に対して使用されてよい。別の（例えば、リファレンスを使用する）技術も収斂段階に対して使用できる。

【0010】種々な周知の等化器及びそれらの利用法についての更なる情報は、既存の技術の概要を示した、オーディル・マッチ氏の論文「通信におけるデジタル等化」（Ann. テレコム第53巻第1-2号、1998年発行）に示されている。

【0011】この論文に記述されているように、最大確率等化器（MLSE（maximum probability equalizer））は、最も効率的である。しかしながら、それはいくつかの不利な点を有し、特に実際には（特に、相当に多数の状態を有する変調に対しては）、使用することが不可能なほど可成り複雑である。そのため、DFEシステムは、等化性能と実現の複雑さとの間の最良の割合を与えるものと考えられる。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、DFEシステムは、構造に固有の欠陥、すなわち誤差伝搬現象を有する。この誤差伝搬現象は、等化器のフィードバック部分に誤差が注入されること、並びに、品質判定基準がこれらの誤差によって乱されるときにフィルタ係数を計算するために使用されるアルゴリズムが発散することが、原因の一部になっている。さらに、DFEの発散におけるそれぞれの影響の相対的な重要性を区別することは非常に難しい。これはよく知られている主要な問題であるが、しかし満足に解決されていない。

【0013】DFEは、数量化及び予測が難しいというリスクのために、実際はあまり使用されていない。唯一の周知の利用例は、外乱が非常に弱いチャネル、例えばケーブルネットワーク上でのデジタルTV配信に関するものである。

【0014】しかしながら、ある1つの技術が、ジェー・ラバト氏とオーラ・マッチ氏によって、「適応決定帰還等化器：トレーニング期間を省略できますか？」（通信に関するIEEEトランザクション、第46巻第7号、1998年7月発行）と題された論文の中で提案されている。この技術では、チャネルが既に正確に別の方法によって等化されるときにだけ、DFE等化が実行される。これは、構造的な情報伝達と、所定の基準（この論文の中では、RMS）の機能としての可逆アルゴリズムを必要とする。そのため、この技術を実現するには、比較的高価となりかつ複雑になる。

【0015】明らかに、もう1つの方法は、誤差が伝搬するときにDFEを再初期化するために十分に長いリファレンス・シーケンス(リファレンス列)を非常に規則的に送信することである。この方法の明白な不利な点は、サービスの役に立たない処理量の消費が大きい点である。そのために、全てのサービスに対する処理量が増加する傾向があるので、明らかにその方法は将来的な解決にはならない。

【0016】本発明の一つの目的は、現在の技術の様々な欠点を克服することにある。特に、本発明の課題の一つは、従来の技術と比較して誤差伝搬の効果を制限する決定帰還等化技術を提供することである。本発明のもう一つの目的は、ラバト氏とマッチ氏によって既に言及された従来技術と比較して、使用することがあまり複雑ではない等化技術を提供することにある。本発明のさらにもう一つの課題は、一部の状況において他の等化方法に切り替える必要のない等化技術を提供することにある。

【0017】

【課題を解決するための手段】これらの目的、及び、以下において明らかとなるであろうその他の目的は、フィルタ係数が所定の品質基準を最適化するように決定されるフォワードフィルタ(FF)及びフィードバックフィルタ(FB)とを備える決定帰還等化器により達成される。この場合、前記決定帰還等化器は、前記フォワードフィルタ(FF)に供給される入力データを受信し、前記フォワードフィルタ(FF)及び前記フィードバックフィルタ(FB)の出力の加算結果に対応する等化データを出力する。

【0018】本発明によれば、重み付きデータ(weighted data)が前記フィードバックフィルタ(FB)に入力されるが、その重み付きデータの値は、前記等化データを考慮し、かつ信頼度(confidence)情報に応じたものである。

【0019】従って、フィードバックフィルタに入力されるシンボル(又はデータ)は、もはや(少なくともシステムマチックに)等化データではなく、伝搬するであろう誤差をときどき持ち込む。この誤差伝搬を避けるために、このデータ項目は、等化データ項目に割り当てられた信頼度が不十分なときに、適切な方法で修正される。

【0020】それ故に、本発明は、誤差伝搬を効率的に減少させるために、その信頼度に依存する重み付けを導入している。

【0021】本発明は、等化追跡段階に対して使用できるが、収敛段階にも使用できる。

【0022】前記品質判定基準の最適化も前記信頼度情報を含むのが有利である。換言すれば、フィルタ係数を計算するためのアルゴリズムを制御するために使用される誤差は、もはやシステムマチックに、等化データと、対応する最尤シンボル(最確シンボル)との間の差ではない。この誤差は、少なくとも信頼度が不十分であると

き、誤差伝搬現象を減少させるように適合させられる。

【0023】本発明の好ましい実施形態によれば、前記決定帰還等化器は、前記等化データに関する信頼度情報を計算する手段と、前記フィードバックフィルタ(FB)に入力される前記信頼度情報を利用する手段を備える。

【0024】異なった方法が、フィルタ係数計算及び信頼度情報の利用のために使用されてよい。

【0025】本発明による決定帰還等化器の第1の有利な実施形態では、前記信頼度情報は、少なくとも、前記等化データとこの等化データに対応する最尤シンボルとの距離を考慮する。

【0026】特に、前記距離は少なくとも1つの閾値と比較され、その閾値化(thresholding)の結果に応じて前記データは処理される。この特定の場合には、前記少なくとも一つの閾値は繰り返して最適化されてよい。明らかに、それはユーザの要求に応じて固定又は調整が可能である。

【0027】本発明による決定帰還等化器のある一つの特定の実施形態では、唯一の閾値が使用され、前記フィードバックフィルタ(FB)に入力される前記重み付きデータは、

- 前記距離が前記閾値未満ならば、前記最尤シンボル、
- 前記距離が前記閾値以上ならば、前記等化データ、である。

【0028】この場合、前記品質基準の最適化において、誤差は、

- 前記距離が前記閾値以下ならば、前記最尤シンボルから前記等化データを引いた値、
- 前記距離が前記閾値以上ならば、ゼロ、に等しくなるように最小化される。

【0029】本発明による決定帰還等化器の1つの有利な実施形態によれば、前記距離は独立に処理される2つの成分に分けられる。

【0030】本発明による決定帰還等化器の第2の有利な実施形態によれば、前記信頼度情報は、

$C_y = \text{Min}(d_{x^+}, d_{y^-}, d_{x^-}, d_{y^+}) / \Delta$
に等しい。ここで、 d_{x^+} , d_{y^-} , d_{x^-} , d_{y^+} は、前記等化データと、その内部でデータが前記最尤シンボルに関連付けられる領域を画定する境界との間のx軸とy軸に沿った4つの距離、 Δ は、前記境界と前記最尤シンボルとの間の距離である。

【0031】従って、前記フィードバックフィルタ(FB)に入力される前記重み付きデータは、

$Y_{\text{feedback}} = C_y \cdot y' + (1 - C_y) \cdot y$
であることが好ましい。ここで、 y' は前記最尤シンボル、 y は前記等化データである。

【0032】さらに、前記品質基準の最適化において、
誤差 = $f(C_y) \cdot (y - y')$ 、

が最小化される。ここで、 y' は前記最尤シンボル、 y は前記等化データである。

【0033】このアプローチは、 g と g' を所定の関数とすると、

$$Y_{\text{feedback}} = g(C_y) \cdot y' + (1 - g'(C_y)) \cdot y$$

を使用することにより一般化できる。

【0034】好ましくは、前記所定の関数 g 及び g' のうちの少なくとも一つは、高い信頼度の効果を増大し、低い信頼度の効果を減少する関数である。例えば、前記所定の関数 g 及び g' のうちの少なくとも一つは、S字型関数 (sigmoid function) である。前記所定の関数 g 及び g' は、同一であると有利である。

【0035】同じように、誤差の計算は、

$$\text{誤差} = f(C_y) \cdot (y - y')$$

により一般化できる。 f 関数は、好ましくは、所定の関数 g 及び g' と同一のタイプの関数である。

【0036】本発明によるもう1つのアプローチでは、2つの直交軸に沿って定義される2つの成分のうちの一つにそれ対応する2つの距離が考慮に入れられる。

【0037】この場合、前記信頼度情報は、

$$CI_y = \min(dx^+, dx^-) / \Delta$$

$$CQ_y = \min(dy^+, dy^-) / \Delta$$

によってそれぞれ与えられる2つの成分 (I , Q) に分けられる。ここで、 dx^+ , dy^+ , dx^- , dy^- は、前記等化データと、その内部でデータが前記最尤シンボルに関連付けられる領域を画定する境界との間のx軸とy軸に沿った4つの距離、 Δ は、前記境界と前記最尤シンボルとの間の距離である。

【0038】前記フィードバックフィルタ (FB) に入力される前記重み付きデータは、

$$Y_{\text{feedback}} I = CI_y (yI') + (1 - CI_y) (yI)$$

$$Y_{\text{feedback}} Q = CQ_y (yQ') + (1 - CQ_y) (yQ)$$

で与えられる2つの成分に分けられることが好ましい。ここで、 yI' 及び yQ' は、前記最尤シンボルの2つの成分、 yI 及び yQ は、前記等化データの2つの成分である。

【0039】この場合、前記品質基準を最適化することは、2つのエレメント、すなわち、

$$\text{誤差} I = CI_y (yI' - yI)$$

$$\text{誤差} Q = CQ_y (yQ' - yQ)$$

を最小化することにより行われる。なお、 f_1 及び f_2 は所定の関数である。

【0040】上と同じように、これらの数式は関数 g , g' 及び f , f' と同じタイプの関数 $g_1 \sim g_4$ 及び関数 f_1 , f_2 を使用して一般化される。すなわち、

$$Y_{\text{feedback}} I = g_1(CI_y) (yI') + (1 - g_2(CI_y)) (yI)$$

$$Y_{\text{feedback}} Q = g_3(CQ_y) (yQ') + (1 - g_4(CQ_y)) (yQ)$$

及び、

$$\text{誤差} I = f_1(CI_y) \cdot (yI' - yI)$$

$$\text{誤差} Q = f_2(CQ_y) \cdot (yQ' - yQ)$$

である。

【0041】明らかに、本発明による決定帰還等化器は、上記アプローチを適合された形で同時に使用できる。

【0042】本発明による決定帰還等化器の好ましい実施形態では、前記等化データは、前記最尤シンボルによって画定されたコンステレーション (constellation) の外側に位置するとき、異なる処理をされる。

【0043】信頼度が低いときでも、誤差のリスクは低く抑えられたままであることが見出される。

【0044】特に、前記コンステレーションの外側のデータは、このコンステレーションの最も隣接する辺上に投影される。

【0045】投影後、重み付きデータは、前記コンステレーション内に位置するデータに対する方法と同じ方法で決定される。

【0046】本発明は、上述の決定帰還等化器によって使用される等化プロセスにも関係している。このタイプの決定帰還等化方法は、

- 入力データをフォワードフィルタ (FF) に通すステップと、

- 入力データをフィードバックフィルタ (FB) に通すステップと、

- 前記フォワードフィルタ (FF) 及び前記フィードバックフィルタ (FB) の出力の加算結果に対応する等化データを出力するステップと、

- 前記フォワードフィルタ (FF) 及び前記フィードバックフィルタ (FB) のフィルタ係数を決定するステップと、

- 前記等化データのそれぞれに割り当てられた信頼度を示す情報を決定するステップと、

- 前記等化データ及び前記信頼度情報に基づいて、重み付きデータを 前記フィードバックフィルタへ出力するステップと、をそれぞれ有している。

【0047】本発明の他の特徴及び利点は、单一の図示された限定的ではない実施として与えられた好ましい実施形態に関しての以下の記載を読むことにより明らかになるであろう。

【0048】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して、本発明の好ましい実施の態様を詳細に説明する。図1を参照して、決定帰還等化器の原理を説明する。この原理そのものは従来から既に知られており、上記において既に述べられた。この決定帰還等化器は、送信チャネルによって配信された、送出データ項目に対応するデータ項目 x を

受信し、対応する送出データ項目 y' を出力する。この決定帰還等化器は、第1のフォワードフィルタ(F F)11と、フィードバックフィルタ(FB)12とを備える。それらのフィルタ係数は、最適化アルゴリズムを使用するモジュール13により、所定基準に基づいて計算される。

【0049】受信シンボル(又はデータ) x はフォワードフィルタ11に入力され、推定シンボル(estimated symbol) y' はフィードバックフィルタ12に入力される。推定シンボル y' は、2つのフィルタ11、12の出力を加算器15にて加算した和15を解析することによって、最尤シンボル(most probable symbol)を決定する推定モジュール(estimating module)14にて出力される。

【0050】例えば、フィルタ係数計算モジュール13は、 y と y' との間の差に等しい誤差 e を考慮して、最小2乗平均(LMS-DD(lower mean square))誤差を決定するためのアルゴリズムを使用してフィルタ係数計算を実行することができる。

【0051】図2を参照して本発明による等化器を説明する。なお、図2においては、図1に図示された符号と同じ符号が使用されている。ここでは、2つの新しい機能(ある実施態様では組み合わされる場合がある)が存在する。それらは、- フィルタ出力 y における信頼度の計算機能21と、- この信頼度の利用機能22、である。

【0052】特に、信頼度情報は、フィードバックフィルタ(FB)12に入力される値($Y_{feedback}$)を適合させるため、及び/又はフィルタ係数の計算(13)に使用される誤差 e の値を適合させるために使用される。従って、値 y' は、フィードバックフィルタへの入力として使用されず、それは、より効率的に等化し、特に誤差伝搬を制限することができる適応値 $Y_{feedback}$ に置き換えられる。

【0053】以下の例では、フィルタ出力の信頼度を計算するために使用できる2つの技術が利用される。両方の技術において、フォワードフィルタ係数及びフィードバックフィルタ係数は、LMS-DDアルゴリズムによって制御される。

【0054】図3に示された第1の技術は、フィルタによって実際に計算されたデータ y_3 と、最も近い判定値32、換言すれば最尤シンボル(最大尤度シンボル)(それ故に、先駆的に、従来のD F Eの場合に選ばれるであろうシンボル)との間の距離の計算に基づいている。

【0055】同時に、次の規則が、この信頼度(換言すれば、距離 d)の利用法に適用される。その規則とは、- 信頼度が十分であるなら、換言すれば信頼度が閾値 d_{min} より大きいならば、フィードバックフィルタ(FB)12へ入力されるデータ項目 $Y_{feedback}$ は

判定値に等しく、

- それ以外の場合は、データ項目 $Y_{feedback}$ は判定前のフィルタの出力 y に等しい、というものである。

【0056】図3において容易にわかるように、この規則の使用は単純過ぎる。ユーザは、 Δ で規格化された d_{min} と呼ばれる最小信頼度閾値を定義する(Δ は、判定値と、隣接する判定値に割り当てられた領域の境界との距離である)。

【0057】判定がなされたなら、シンボルの周囲に、大きさ d_{min} の正方形33又は円が描かれる。等化器の出力におけるデータ y がこの正方形33の内部にあるなら、フィードバックフィルタ(FB)12に入力されるデータは、

$Y_{feedback} = \text{判定値 (decision)}$

であり、それ以外は、

$Y_{feedback} = y$

である。明らかに、他の規則も同じ目的のために使用できる。

【0058】フィルタ係数を計算するためのアルゴリズムは、誤差 e を決定するために次の規則を使うことができる。 $d < d_{min}$ である場合には、誤差 $= Y_{feedback} - y$ であり、それ以外の場合は、

誤差 $= 0$

である。

【0059】この等化器の性能は、コンステレーション(constellation)外部のポイントを異なった方法で管理することによっても改良される(対応する適合化がなされるなら、このことは全ての実施態様において有効である)。フィルタ出力がそのコンステレーション外部にあるなら、 d_{min} を越える距離にあっても誤差のリスクは非常に低く、この場合には、出力 y はコンステレーションの辺上に投影される。

【0060】より正確には、MAQ64を変調の一例として使用すると、ある一つの軸と外部のポイントとの距離は 7δ であることが知られている(2δ は2つの連続したポイントの間の距離である)。上記アプローチによれば、議論されたサンプルの距離が $7\delta + d_{min}$ を越えると、そのサンプルは議論された軸(少なくとも一つの軸)に沿って 7δ の距離に引き戻される。換言すれば、 $Dx > 7\delta + d_{min}$ であれば、 $Dx = 7\delta$

$Dy > 7\delta + d_{min}$ であれば、 $Dy = 7\delta$

ということである。その後、 $Y_{feedback}$ と誤差 e の規則は、同じ方法で適用される。ユーザは、 d_{min} の値を固定してもよい。反復アルゴリズムを使用して、 d_{min} の最適値を自動的に探すことも可能である。

【0061】図4に示された第2の実施態様では、次の数式を使用して信頼度が計算される。その数式は、 $C_y = \text{Min}(dx^+, dy^-, dx^-, dy^+) / \Delta$ で与えられる。

【0062】この第2の方法による規則は、

- $Y_{\text{feedback}} = C_y \cdot y_{\text{estimated}} + (1 - C_y) \cdot y$
- 誤差 = $C_y \cdot (y_{\text{estimated}} - y)$

で与えられると有利である。

【0063】 Y_{feedback} の計算のための式は、以下のように一般化できる。すなわち、

$$Y_{\text{feedback}} = g_1(C_y) \cdot y_{\text{estimated}} + (1 - g_2(C_y)) \cdot y$$

ここで、 g_1 及び g_2 は、好ましくは高い信頼度の値を優先し、それに対応して低い信頼度の値を減少させるように設計された非線形の所定関数である。特に、それはニューロンシステムで使用される関数のようなS字型関数でよい。関数 g_1 及び g_2 はもちろん互いに等しくてよく、すなわち $g_1 = g_2 = g$ が成立してよい。 g が恒等関数であるとき、以前の式が再び得られることに留意する。

【0064】同じように、誤差の計算は、

$$\text{誤差} = f(C_y) \cdot (y_{\text{estimated}} - y)$$

によって一般化できる。ここで、 f も関数 g_1 及び g_2 と同様の所定関数（恒等関数、S字型関数、…）である。

【0065】コンステレーションの外部に位置するポイントは、以下の投影（MAQ 64の場合）を使用して、もう一度再び異なる処理をすることができる。すなわち、 $D_x > 7\delta$ ならば、 $D_x = 7\delta$ であり、 $D_y > 7\delta$ ならば、 $D_y = 7\delta$ である。その後、既に提案された規則を使用することができる。

【0066】明らかに、他の実施態様を考えることができる。特に、上記において定義されたアプローチは「組み合わせ」可能であって、いくつかの閾値に対応するいくつかの図3に示された実施態様における正方形を含めることができる。ただしそれぞれの閾値に対してそれぞれ異なる処理がなされる。距離が d_{\min} 以下であるときは第1の規則が適用され、距離が d_{\min} 以上のときは第2の規則が適用されることも可能である。

【0067】図5（A）及び図5（B）は、本発明による技術の有効性を実証するシミュレーションを示している。シミュレーションの内容は、ディー・モチア氏による「スペクトル効率の高い変調のための等化機能、同期機能及びチャネル復号化機能の結合」と題された論文（INSA論文、レンヌ、1997年1月発行）から引用された。これには、2つの異なる定常チャネル（stationary channel）（図5（A）及び図5（B）参照）を介するDVBケーブルシステムを使用したMAQ 64変調送信が記述されている。

【0068】最初のチャネル（図5（A）参照）は、30周期（30Ts）において 10 dB のエコーを含む僅かに乱されたチャネルに対応する。第2のチャネル（図5（B）参照）は、以下のパルス応答によって定義される非常に強く乱されたチャネルで、それ故に等化することが非常に困難である。

【0069】そのパルス応答は、

$$H = (0.8264; -0.1653; 0.8512; 0.1636; 0.81)$$

である。

【0070】これらの2つのチャネルに関して言えば、外乱51は、従来のDFEのケース52の部分において誤差伝搬現象を生成するために、等化器が追跡段階にある間に、故意に加えられた。図示された全ての等化器は、LMS-DDによって最適化され、学習シーケンス（learning sequence）を使用して収束された。

【0071】示された結果は、最適なDFE 53（管理されたDFE（supervised DFE））を使って得られた。なお、DFE 53は、その送出データがフィードバックフィルタ及びアルゴリズムへの入力データとして使用される「仮想の」等化器であり、通常、現実の等化器と比較されるべき最適性能を備えたDFEであるものと考えられる。

【0072】これら2つの図は、非定常性（外乱）51が生じるとき、従来のDFE 52では非常に急速に誤差伝搬が始まるところを示している。他方、本発明による技術54（WDFE又は重み付けされたDFE）は両方の場合に安定したままである。この場合、我々は $d_{\min} = 0.6$ を持つ上記第1の実施態様を使用する。

【0073】図5（C）は、第2の実施態様が使用されたときの図5（B）と同じ状況を示している。従来のDFE 52とは異なって、曲線54の発散は一切ないことが見て取れる。

【0074】図5（D）は、

- 16 dB に等しいノイズ55（10000回の反復に対応する瞬間における）と、
- エコー56（20000回の反復に対応する瞬間における）と、を繰り返し受けた、MAQ 16変調を処理する一例を示している。

【0075】これらの2つの大きな外乱にもかかわらず、誤差の伝搬による発散は一切存在しない。

【0076】収束段階が（例えばリファレンス・シーケンスを用いて）実行されたので、上の4つの実施例は追跡段階に適用可能である。しかしながら、図5（E）に示された実施例では、本発明によれば自己学習作業が実行できることを見て取ることができる。この場合には、30 dB のノイズが与えられ、MAQ 16変調が使用される。収束及び追跡段階は第2の実施態様を使って実行される。

【0077】さらにもっと良い有効性を与えることができるもう1つのアプローチによれば、距離はもはや大域的（全体的）には計算されないが、しかし図4に示されたようにそれぞれの軸に沿って独立に計算される。この場合、上に与えられた式はそれぞれの軸に沿って独立に適用される。

【0078】ある一点の（それぞれの軸に関連する）こ

これら2つの成分の中の一つ（I又はQ）が数式に関連するとしても、その点が（全体として）数式に関連しないことがあり得る。その結果は、軸が別々に処理される場合と比較して、計算ノイズが増大し、性能が劣化する。

【0079】こうして、図4に示された方法の一変形例である図6に示された例では、大域的な（全体的な）信頼度C yはゼロであることが見出されるが、しかし、

- 軸Iに沿って： $C I_y$ は良（good）、
- 軸Qに沿って： $C Q_y = 0$ 、

である。

【0080】そこで、以下の2つの独立な信頼度の計算、すなわち、

$$C I_y = \min(d x^+, d x^-) / \Delta$$

$$C Q_y = \min(d y^+, d y^-) / \Delta$$

が実行されることが提案される。

【0081】これらの2つの信頼度の値は以前の方法と同じように使用される。すなわち、

$$Y_{\text{feedback } I} = C I_y (y I') + (1 - C I_y) (y I)$$

$$Y_{\text{feedback } Q} = C Q_y (y Q') + (1 - C Q_y) (y Q)$$

及び、

$$\text{誤差 } I = C I_y (y I' - y I)$$

$$\text{誤差 } Q = C Q_y (y Q' - y Q)$$

【0082】以前に記述されたように、これら数式は関数を使って一般化できる。ただし、その目的は、好ましく高い信頼度を強化し、低い信頼度を減少させることにある。例えば、それらはS字型関数でよい。これらの関数（ g_1 、 g_2 、 g_3 、 g_4 、 f_1 及び f_2 ）は、お互いに異なっていても、いなくてもよい。

【0083】一般化された数式は以下のように書かれる。すなわち、

$$Y_{\text{feedback } I} = g_1(C I_y) (y I') + (1 - g_2(C I_y)) (y I)$$

$$Y_{\text{feedback } Q} = g_3(C Q_y) (y Q') + (1 - g_4(C Q_y)) (y Q)$$

ここで、 $y I'$ 及び $y Q'$ は、前記最尤シンボルの2つの成分である。

【0084】 $y I$ 及び $y Q$ は、前記等化データの2つの

成分で、また誤差については、

$$\text{誤差 } I = f_1(C I_y) \cdot (y I' - y I)$$

$$\text{誤差 } Q = f_2(C Q_y) \cdot (y Q' - y Q)$$

である。ここで、 f_1 及び f_2 は、所定関数である。

【0085】同様に、議論された第1の数式に関して、距離がそれぞれの軸に沿って大きさ d_{min} の正方形内に存在することがチェックできる。

【0086】本明細書及び図面に記述された特定の実施態様は、本発明の範囲を限定することを意図するものではなく、あくまでも説明目的のため本発明の具体例として提供されたものである。従って、本発明の特許請求の範囲を逸脱することなく、様々な変更と修正が可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】DFE等化器（決定帰還等化器）の公知の原理図である。

【図2】本発明によるDFE等化器を示す図である。

【図3】本発明の第1の実施態様に係る図2のDFE等化器における信頼度計算の原理を説明するための図である。

【図4】本発明の第2の実施態様に係る図2のDFE等化器における信頼度計算の原理を説明するための図である。

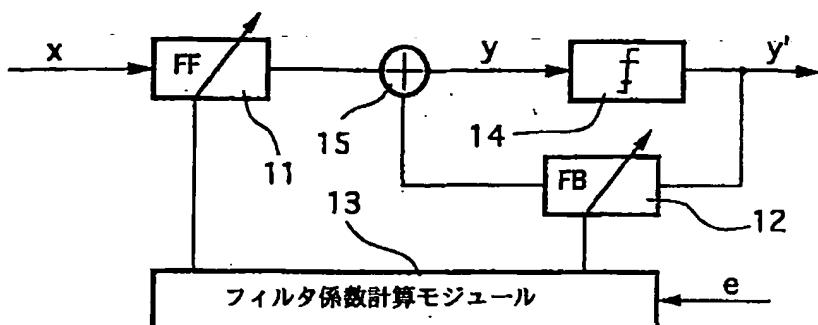
【図5】(A)から(E)はそれぞれ従来のDFE等化器と比較したときの本発明による等化法の有効性を示した図である。

【図6】2つの領域が独立に処理される図4の一変形例を示した図である。

【符号の説明】

- 1.1 フォワードフィルタ (FF)
- 1.2 フィードバックフィルタ (FB)
- 1.3 フィルタ係数計算モジュール
- 1.4 推定モジュール
- 1.5 加算器
- 2.1 信頼度計算モジュール
- 2.2 信頼度利用処理モジュール
- 3.1 等化データ
- 3.2 最尤シンボル

【図1】



【図3】

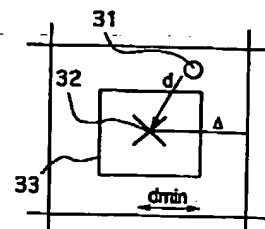
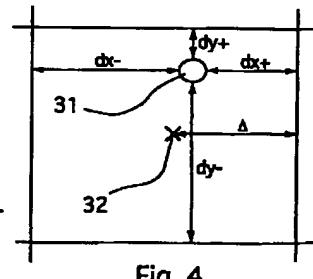


Fig. 1

【図4】



【図2】

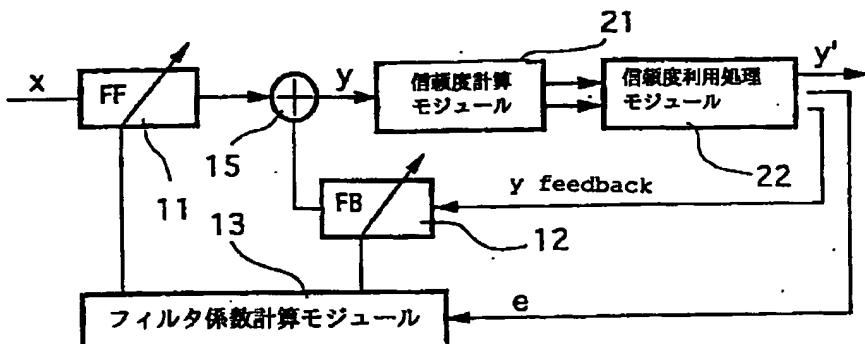


Fig. 2

【図5A】

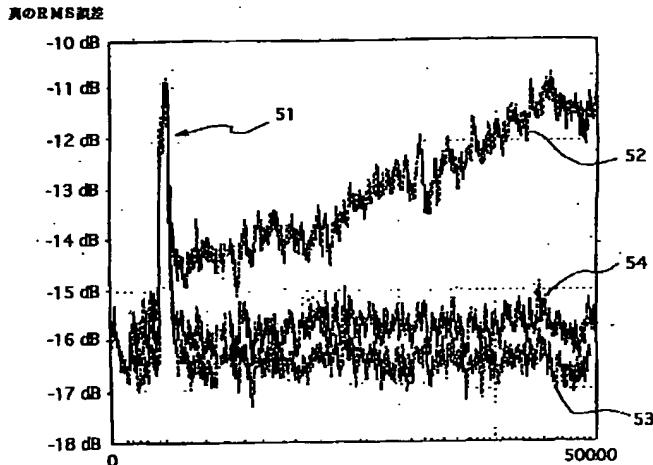


Fig. 5A

【図5B】

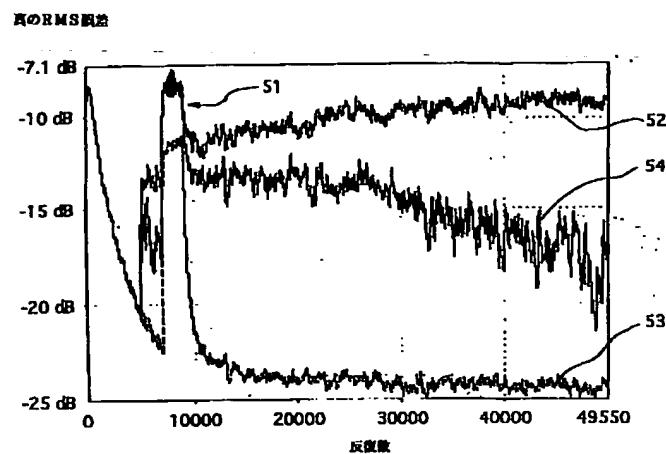


Fig. 5B

【図5C】

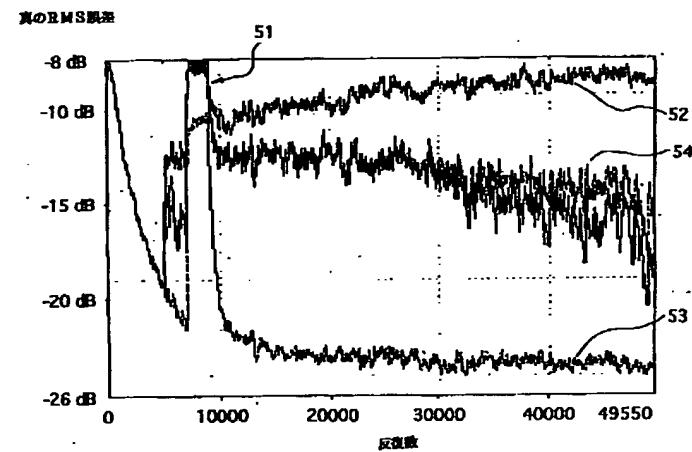


Fig. 5C

【図5D】

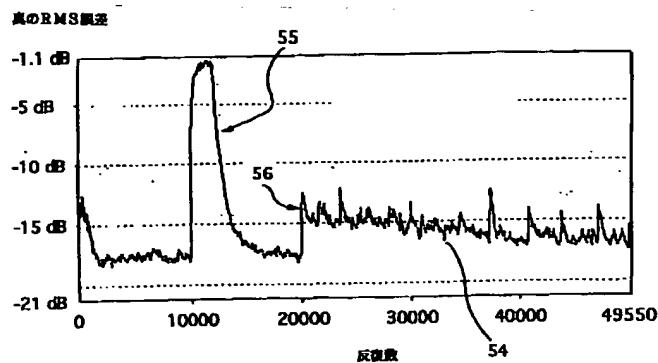


Fig. 5D

【図5E】

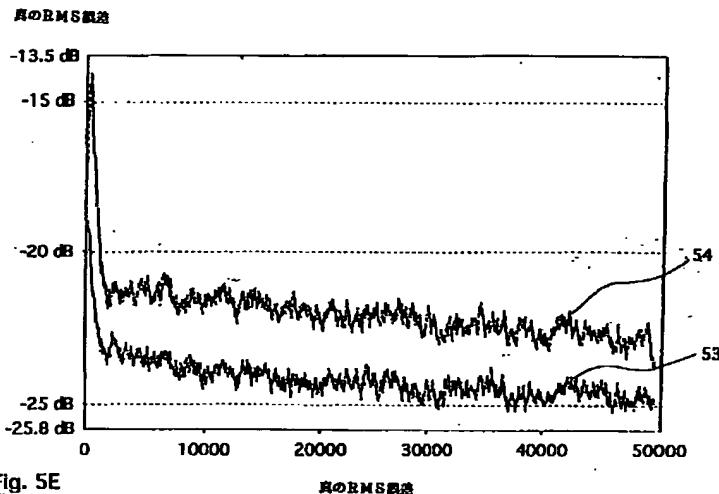


Fig. 5E

【手続補正書】

【提出日】平成12年6月23日(2000.6.2)

3)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0079

【補正方法】変更

【補正内容】

【0079】こうして、図4に示された方法では、大域的な(全体的な)信頼度C_yはゼロであることが見出さ

れるが、しかし、

- 軸Iに沿って: C_I, は良 (good)、

- 軸Qに沿って: C_Qy = 0、

である。

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図6

【補正方法】削除

【外国語明細書】

1. Title of Invention

WEIGHTED DECISION FEEDBACK EQUALIZER, AND CORRESPONDING
EQUALIZATION PROCESS

2. Claims

1. Decision feedback equalizer comprising a forward filter (FF) (11) and a feedback filter (FB) (12) in which the filter coefficients (13) are determined so as to optimize ~~a predetermined quality criterion,~~
- 5 the said equalizer receiving input data (x) applied to the said forward filter (FF), and outputting equalized data (y') corresponding to the sum of the outputs from the said forward filter (FF) and the said feedback filter (FB),
- 10 characterized in that the weighted data ($y_{feedback}$) are fed into the said feedback filter (FB), the value of these data taking account of the said equalized data (y) and corresponding confidence information.
- 15 2. Decision feedback equalizer according to claim 1, characterized in that optimization (13) of the said quality criterion also takes account of the said confidence information.
- 20 3. Decision feedback equalizer according to either of claims 1 or 2, characterized in that the means (21) of calculating the said confidence information in the said equalized data, and the means (22) of using the said confidence information, are both input into the said feedback filter (FB).
- 25 4. Decision feedback equalizer according to any one of claims 1 to 3, characterized in that the said confidence information takes account of at least a distance (d) between the said equalized data and the most probable symbol corresponding to the said data.
- 30 5. Decision feedback equalizer according to claim 4, characterized in that the said distance (d) is compared with at least one threshold (d_{min}), processing of the said data depending on the result of thresholding.

6. Decision feedback equalizer according to claim 5, characterized in that the said at least one threshold is optimized iteratively.

7. Decision feedback equalizer according to either 5 of claims 5 or 6, characterized in that it uses a single threshold, and the said weighted data input into the feedback filter (FB) is:

- 10 - the said most probable symbol, if the said distance is less than the said threshold;
- the said equalized data, if the said distance is greater than the said threshold.

8. Decision feedback equalizer according to claims 2 and 7, characterized in that optimization of a quality criterion consists of minimizing an error equal to:

- 15 - the said most probable symbol minus the said equalized data, if the said distance is less than the said threshold;
- zero, if the said distance is greater than the said threshold.

20 9. Decision feedback equalizer according to claims 2 and 8, characterized in that the said distance is broken down into two components treated independently.

25 10. Decision feedback equalizer according to claim 4, characterized in that the said confidence information is equal to:

$$C_s = \frac{\text{Min}(dx^+, dy^-, dx^-, dy^+)}{\Delta}$$

30 where: dx^+ , dy^- , dx^- and dy^+ are four distances along the x and y axes between the said equalized data and the boundary defining the area within which a data item is associated with the said most probable symbol;
 Δ is the distance between the said boundary and the said most probable symbol.

11. Decision feedback equalizer according to claim
10, characterized in that the said weighted data input
into the said feedback filter (FB) is:

$$Y_{\text{feedback}} = g(C_y) \cdot y' + (1-g'(C_y)) \cdot y$$

5 where y' is the said most probable symbol;

y is the said equalized data;

g and g' are predetermined functions.

12. Decision feedback equalizer according to claim
11, characterized in that at least one of the said
10 functions g and g' is the identity function.

13. Decision feedback equalizer according to claim
12, characterized in that at least one of the said
predetermined functions g and g' is a function that
reinforces the effect of high confidences and reduces
15 the effect of low confidences.

14. Decision feedback equalizer according to claim
13, characterized in that at least one of the said
predetermined functions g and g' is a sigmoid function.

15. Decision feedback equalizer according to any
20 one of claims 13 and 14, characterized in that the said
functions g and g' are the same function.

16. Decision feedback equalizer according to any one
of claims 13 to 15, characterized in that optimization
of a quality criterion consists of minimizing:

25 $\text{error} = f(C_y) \cdot (y' - y)$

where y' is the said most probable symbol;

y is the said equalized data;

f is a predetermined function.

17. Decision feedback equalizer according to claim
30 16, characterized in that the said predetermined
function f is the identity function.

18. Decision feedback equalizer according to claim
16, characterized in that the said predetermined
function f is a function, which reinforces the effect of

high confidences, and reduces the effect of low confidences.

19. Decision feedback equalizer according to claim 18, characterized in that at least one of the said 5 predetermined functions g and g' is a sigmoid function.

20. Decision feedback equalizer according to any one of claims 4 to 19, making use of two distances each corresponding to two components defined respectively along two perpendicular axes.

10 21. Decision feedback equalizer according to claim 20, characterized in that the said confidence information is advantageously broken down into two components (I , Q):

$$CI_y = \min(dx^+, dx^-)/\Delta$$

$$CQ_y = \min(dy^+, dy^-)/\Delta$$

where: dx^+ , dy^+ , dx^- and dy^- are the four distances along the x and y axes between the said 20 equalized data and the boundary defining the area in which a data is associated with the said most probable symbol;

Δ is the distance between the said boundary and the said most probable symbol.

22. Decision feedback equalizer according to claim 21, characterized in that the said weighted data input 25 into the said feedback filter (FB) is also broken down into two components:

$$Y_{feedbackI} = g_1(CI_y)(yI') + (1-g_1(CI_y))(yI)$$

$$Y_{feedbackQ} = g_2(CQ_y)(yQ') + (1-g_2(CQ_y))(yQ)$$

where yI' and yQ' are the two components of the said 30 most probable symbol;

yI and yQ are the two components of the said equalized data;

g_1 , g_2 , g_3 , g_4 are predetermined functions.

23. Decision feedback equalizer according to claim 22, characterized in that at least one of the said predetermined functions g_1 , g_2 , g_3 and g_4 is the identity function.

5 24. Decision feedback equalizer according to claim 22, characterized in that at least one of the said predetermined functions g_1 , g_2 , g_3 and g_4 is a function, which reinforces the effect of high confidences and reduces the effect of low confidences.

10 25. Decision feedback equalizer according to claim 24, characterized in that at least one of the said predetermined functions g_1 , g_2 , g_3 and g_4 is a sigmoid function.

15 26. Decision feedback equalizer according to any one of claims 23 to 25, characterized in that the said functions g_1 and g_2 and/or the said functions g_3 and g_4 are the same function.

20 27. Decision feedback equalizer according to any one of claims 22 to 26, characterized in that the optimization of a quality criterion consists of minimizing the two elements:

$$\text{errorI} = f_1(CI_y)(yI' - yI)$$

$$\text{errorQ} = f_2(CQ_y)(yQ' - yQ)$$

where f_1 and f_2 are predetermined functions.

25 28. Decision feedback equalizer according to claim 27, characterized in that at least one of the said predetermined functions f_1 or f_2 is the identity function.

29. Decision feedback equalizer according to claim 30 27, characterized in that at least one of the said predetermined functions f_1 or f_2 is a function, which

reinforces the effect of high confidences and reduces the effect of low confidences.

30. Decision feedback equalizer according to claim 29, characterized in that at least one of the said predetermined functions f_1 or f_2 is a sigmoid function.

31. Decision feedback equalizer according to any one of claims 28 to 30, characterized in that the said predetermined functions f_1 and f_2 are the same function

32. Decision feedback equalizer according to any one of claims 4 to 9 and any one of claims 10 to 31, characterized in that it comprises first means of calculating the said confidence information taking account of at least a distance (d) between the said equalized data and the most probable symbol corresponding to the said data, and second means of calculating the following expression for the said confidence information:

$$C_s = \frac{\text{Min}(dx^+, dy^+, dx^-, dy^-)}{\Delta}$$

where: dx^+ , dy^+ , dx^- and dy^- are the four distances along the x and y axes between the said equalized data and the boundary defining the area within which a data item is associated with the said most probable symbol; Δ is the distance between the said boundary and the said most probable symbol.

33. Decision feedback equalizer according to any one of claims 4 to 32, characterized in that the said equalized data are treated differently when they are outside the constellation defined by the possible symbols.

34. Decision feedback equalizer according to claim 33, characterized in that data outside the said

constellation are projected onto the closest edge of the said constellation.

35. Decision feedback equalizer according to claim 34, characterized in that, after projection, a 5 weighted data item is determined in the same way as for data located within the said constellation.

36. Decision feedback equalization process, characterized in that it comprises the following steps:

- forward filtering (FF) (11) of the input data;
- 10 - feedback filtering (FB) (12);
- output of equalized data (y') corresponding to the sum (15) of the outputs of the said forward filter (11) and feedback filter (12);
- determination (13) of the filter coefficients for 15 the said forward and feedback filters;

characterized in that it comprises the following steps:

- determination (12) of information representative of the confidence assigned to each of the said equalized data items;
- 20 - output of weighted data ($y_{feedback}$) to the said feedback filter, taking account of the said equalized data (y') and the said confidence information.

3. Detailed Explanation of the Invention

The field of the invention is the reception of digital signals, particularly when they are transmitted through disturbed transmission channels. More precisely, the invention relates to the equalization of this type of signal.

5 A digital signal receiver may be arbitrarily broken down into a series of modules comprising a radio-frequency (RF) head connected to a reception antenna, an analog-digital converter, an equalizer and a channel decoder. The role of the channel decoder module is to improve transmission performances with regard to noise, as a function of the corresponding coding used during emission.

10 15 The purpose of the equalizer is to overcome imperfections due to the transmission channel (for example echoes, fading, etc.). In other words, its purpose is to format the received signal, or to "open the eye" with reference to the conventional "eye diagram".

20 Equalization is based on three elements:
• one or more filters;
• a quality criterion;

- an algorithm for the calculation of filter coefficients.

This algorithm determines the coefficients that optimize filtering (in other words, for example they 5 maximize it if the criterion is the eye aperture, or minimize it if the criterion is a root mean square (RMS) error, and therefore also optimize equalization.

Therefore, conventionally the equalizer is based on the use of a closed loop.

10 A distinction can be made between two main types of equalizers depending on their use:

- adaptive equalizers, for which the quality criterion is determined from a reference known to the receiver and emitted by the emitter (obviously to the detriment of the useful throughput);
- self-adaptive (or self-teaching or "blind") equalizers that do not need references (for example decisions after decoding being used as references in a "decision directed" operation).

15 20 A distinction can also be made between three main equalizer structures:

- finite pulse response (FPR) filters correspond to conventional transverse filters;
- linear infinite pulse response (linear IPR) filters, using a "forward" FPR filter and a feedback FPR filter looped back onto the equalizer output;
- non-linear infinite pulse response (non-linear IPR) filters that take account of decisions made 25 on the value of received data (these decisions being input into the feedback filter).

More precisely, the invention relates to this latter type of equalizer, conventionally called decision feedback equalizers (DFE). 

The operation of the equalizer is usually broken down into two phases, firstly a convergence phase (which may or may not use references), and a tracking phase.

5 The invention may be used for the tracking phase and for the convergence phase. Another technique (for example using references) may also be used for the convergence phase.

10 Further information about the various known equalizers and their use is given in the article by Odile MACCHI ("Digital equalization in communications") (Ann. Télécomun.; 53 No.1-2, 1998) that presents a summary of various existing techniques.

15 As described in this article, the maximum probability equalizer (MLSE) is the most efficient. However, it has several disadvantages, and particularly its considerable complexity which makes it impossible to use it in practice (particularly for modulations with a large number of states).

20 Therefore the DFE system appears to give the best ratio between equalization performances and implementation complexity.

25 However, it has a defect inherent to its structure, namely the error propagation phenomenon. This phenomenon is due partly to the injection of errors in the feedback part of the equalizer and to divergence of the algorithm used to calculate filter coefficients when the quality criterion is distorted by these errors. Furthermore, it is very difficult to make a distinction between the relative importance of each contribution in the 30 divergence of the DFE.

This is a major problem that is well known but that has not been satisfactorily solved.

35 The DFE is not very much used in practice due to this risk, which is difficult to quantify and predict. The only known uses concern channels with very weak disturbances, for example for the distribution of

digital tel vision n a cable network (American proposal) (FCC).

However, one technique was proposed by J. LABAT, O. MACCHI and C. LAOT in the article entitled "Adaptive
5 Decision Feedback Equalization: can you skip the training period?" (IEEE trans. On com., Vol. 46 No.7, July 98). This technique consists of making a DFE equalization only when the channel is already correctly equalized by another method. This requires a structural
10 communication and a reversible algorithm, as a function of a given criterion (the RMS in this article).

Therefore, implementation of this technique is relatively expensive and complex.

Obviously, another method would be to transmit a
15 sufficiently long reference sequence very regularly in order to reinitialize the DFE when errors are propagated. The obvious disadvantage of this method is the large consumption of a throughput useless for service. Therefore, it is obviously not a solution of
20 the future, since the trend is to increase the throughput for all services.

One particular purpose of the invention is to overcome these various disadvantages in the state of the art.

25 More precisely, one objective of the invention is to provide a decision feedback equalization technique that limits the effect of error propagations compared with known techniques.

Another purpose of the invention is to provide a
30 similar equalization technique that is not very complex to use compared with the technique already mentioned by Labat and Macchi.

Another purpose of the invention is to provide an equalization technique that does not require switching
35 with other equalization methods in some situations.

These objectives, and others that will become obvious later, are achieved by means of a decision feedback equalizer (DFE) comprising a forward filter (FF), and a feedback filter (FB) in which the filter coefficients are determined so as to optimize a predetermined quality criterion, the said equalizer receiving input data applied to the said forward filter (FF), and outputting equalized data corresponding to the sum of the outputs from the said forward filter (FF) and the said feedback filter (FB).

According to the invention, weighted data are fed into the said feedback filter (FB), the value of these data taking account of the said equalized data and corresponding confidence information.

Thus, the symbol (or data) input into the feedback filter is no longer (or at least not systematically) the equalized data, which sometimes carries an error that will be propagated. To avoid this propagation, this data item is modified in an appropriate manner when the confidence assigned to the equalized data item is insufficient.

Therefore, the invention introduces weighting that depends on the confidence, in order to efficiently reduce error propagation.

Note that the invention may be used for the equalization tracking phase, and also for the convergence phase.

Advantageously, optimization of the said quality criterion also includes the said confidence information.

In other words, the error used to control the algorithm for calculating the filter coefficient is no longer systematically the difference between the equalized data and the most probable corresponding symbol. This error is adapted in order to reduce the error propagation phenomenon, at least, when confidence is insufficient.

According to one preferred embodiment of the invention, the equalizer comprises means of calculating the said confidence information in the said equalized data, and means of using the said confidence information applied to the said feedback filter (FB).

Different methods may be used for the calculation and for use of the confidence information.

According to a first advantageous embodiment of the invention, the said confidence information takes account of at least a distance between the said equalized data and the most probable symbol corresponding to the said data.

In particular, the said distance may be compared with at least one threshold, processing of the said data depending on the result of thresholding.

In this particular case, the said at least one threshold may be optimized iteratively. Obviously, it may also be fixed, or adjustable on request by the user.

According to one particular embodiment of the invention, the equalizer uses a single threshold, and the said weighted data input into the feedback filter (FB) is:

- the said most probable symbol, if the said distance is less than the said threshold;
- 25 - the said equalized data, if the said distance is greater than the said threshold.

In this case, optimization of a quality criterion may advantageously consist of minimizing an error equal to:

- 30 - the said most probable symbol minus the said equalized data, if the said distance is less than the said threshold;
- zero, if the said distance is greater than the said threshold.

According to one advantageous embodiment, the said distance is broken down into two components that are treated independently.

According to a second advantageous embodiment of the invention, the said confidence information is equal to:

$$C_y = \frac{\min(dx^+, dy^-, dx^-, dy^+)}{\Delta}$$

where: dx^+ , dy^+ , dx^- and dy^- are four distances along the x and y axes between the said equalized data and the boundary defining the area within which a data item is associated with the said most probable symbol;

Δ is the distance between the said boundary and the said most probable symbol.

Thus, the said weighted data input into the said feedback filter (FB) is preferably:

$$Y_{\text{feedback}} = C_y \cdot y' + (1-C_y) \cdot y$$

where y' is the said most probable symbol;
 y is the said equalized data.

Furthermore, optimization of a quality criterion may advantageously consist of minimizing:

$$\text{error} = C_y \cdot (y' - y)$$

where y' is the said most probable symbol;
 y is the said equalized data.

This approach can be generalized by using equation $Y_{\text{feedback}} = g(C_y) \cdot y' + (1-g'(C_y)) \cdot y$, where g and g' are predetermined functions.

Preferably, at least one of said predetermined functions g and g' is a function, which reinforces the effect of strong confidence values, and reduces the effect of weak confidence values. For example, at least one of said predetermined functions g and g' is a sigmoid function.

Advantage usly, said functions g and g' are the same function.

In th same way, the error calculation can be generalized by error = $f(C_y) \cdot (y' - y)$. The f function is 5 preferably of the same type as functions g and g' .

In another approach according to the invention, two distances are taken into account, each corresponding to one of the two components defined along two perpendicular axes.

10 In this case, the said confidence information is advantageously broken down into two components (I , Q):

$$CI_y = \min(dx', dx^-) / \Delta$$

$$CQ_y = \min(dy', dy^-) / \Delta$$

15 where: dx' , dy' , dx^- and dy^- are the four distances along the x and y axes between the said equalized data and the boundary defining the area in which data is associated with the most probable symbol;

20 Δ is the distance between the said boundary and the said most probable symbol.

Preferably, the said weighted data input into the said feedback filter (FB) is also broken down into two components:

$$Y_{feedbackI} = CI_y(yI') + (1-CI_y)(yI)$$

$$Y_{feedbackQ} = CQ_y(yQ') + (1-CQ_y)(yQ)$$

where yI' and yQ' are the two components of the said most probable symbol;

yI and yQ are the two components of the said equalized data.

30 In this case, optimizing a quality criterion advantageously consists of minimizing the two elements:

$$errorI = CI_y(yI' - yI)$$

$$errorQ = CQ_y(yQ' - yQ)$$

In the same way as previously, the equations may be generalized, with functions g_1 to g_i and f_1 and f_i of the same type as functions g , g' and f mentioned above, that is to say:

$$\begin{aligned} 5 \quad Y_{\text{feedback}} I &= g_1(CI_y)(yI') + (1-g_1(CI_y))(yI) \\ Y_{\text{feedback}} Q &= g_1(CQ_y)(yQ') + (1-g_1(CQ_y))(yQ) \\ \text{Error} I &= f_1(CI_y)(yI' - yI) \\ \text{Error} Q &= f_1(CQ_y)(yQ' - yQ). \end{aligned}$$

Obviously, the equalizer according to the invention can simultaneously use both of the approaches described 10 above in an adapted form.

According to a preferred embodiment of the invention, the said equalized data may be treated differently when they are outside the constellation defined by the possible symbols.

15 It is found that the risk of error remains low, even when confidence is low.

In particular, data outside the said constellation may be projected onto the closest edge of the said constellation.

20 After projection, weighted data is advantageously determined in the same way as data located within the said constellation.

The invention also relates to the equalization process used by the equalizer described above. This 25 type of decision feedback equalization process comprises the following steps:

- forward filtering (FF) of the input data;
- feedback filtering (FB);
- output of equalized data corresponding to the sum 30 of the outputs of the said forward and feedback filters;
- determination of the filter coefficients for the said forward and feedback filters;

5 - determination of information representative of the confidence assigned to the said equalized data;
 - output of a weight d data to the said feedback filter, taking account of the said equalized data
and the said confidence information.

10 Other characteristics and advantages of the invention will become clear after reading the following description of a preferred embodiment, given as a simple illustrative and non-restrictive example, and the attached drawings in which:

15 - figure 1 is a principle diagram, known in itself, of a DFE equalizer;
 - figure 2 shows an equalizer according to the invention;
15 - figure 3 illustrates the principle for calculating confidence in the equalizer in figure 2, according to a first embodiment;
 - figure 4 illustrates the principle for calculating confidence in the equalizer in figure 2, according
20 to a second embodiment;
 - figures 5A to 5E are five examples illustrating the equalization efficiency according to the invention, compared with a conventional DFE;
 - figure 6 illustrates a variant of figure 4 in
25 which the two axes are treated independently.

Figure 1 presents the principle of a decision feedback equalizer. This principle is known in itself and has already been commented on in the foreword.

30 This equalizer receives a data item x corresponding to an emitted data item, that has been disturbed by the transmission channel, and outputs a corresponding estimated data item y' . It comprises a first forward filter (FF) 11 and a feedback filter (FB) 12, for which the filter coefficients are calculated by module 13
35 using an optimization algorithm as a function of a predetermined criterion.

The received symbol (or data) x is input into the forward filter 11, and the estimated symbol y' is input into the feedback filter 12. The estimated symbol is output by an estimating module 14 that determines the 5 most probable symbol by analyzing the sum y 15 of the outputs from the two filters 11 and 12.

For example, the calculation 13 of the coefficients may be made using an algorithm to determine the lowest mean square (LMS-DD) error taking account of the error e 10 equal to the difference between y and y' .

Figure 2 illustrates an equalizer according to the invention. The same numbers are used for elements already shown in figure 1. There are two new functions (which may be combined in some embodiments):

15 - calculation of the confidence 21 in the filter output y ;
- use 22 of this confidence.

In particular, the confidence information is used to adapt the value ($y_{feedback}$) input into the feedback filter 20 12 and/or to adapt the value of the error e used for the calculation 13 of filter coefficients. Thus, the value y' is not used as input to the feedback filter, it is replaced by an adapted value $y_{feedback}$ that can give a more efficient equalization, and particularly limited error 25 propagation.

The examples below make use of two techniques that could be used to calculate confidence in the filter output.

In both cases, the forward and feedback filter 30 coefficients are controlled by an LMS-DD algorithm.

The first technique illustrated in figure 3 is based on a calculation of the distance between the data y 31 actually calculated by the filter, and the nearest decision 32, in other words the most probable symbol 35 (and therefore, a priori, the symbol that will be selected in the case of a conventional DFE).

At the same time, the following rule is applied for us of this confidence (in other words the distance d):

- if the confidence is sufficient, in other words is greater than a threshold d_{\min} , then the data item input in the feedback filter 12 y_{feedback} is equal to the decision;
- otherwise, the data item y_{feedback} is equal to the output from filter y before the decision.

The use of this rule is excessively simple, as can 10 easily be seen in figure 3. The user defines the minimum confidence threshold, called d_{\min} , normalized to Δ (where Δ is the distance between the decision and the boundary with the area assigned to an adjacent decision).

15 A square 33, or a circle with dimension d_{\min} , is drawn around the symbol decided upon, if a decision has been made. If the data y at the output from the equalizer is inside this square, then the data input into the feedback filter 12 is:

```
20      Yfeedback = decision
else:
      Yfeedback = y.
```

Obviously, other rules can be used for the same purpose.

25 The algorithm for calculating filter coefficients could use the following rule to determine the error e:

```
If d < dmin then error = yestimated - y
else: error = 0
```

30 The performances of this equalizer may also be improved by managing points outside the constellation in a different manner (this comment is valid for all embodiments, provided that the corresponding adaptations are made). When the filter output is outside the constellation, even at a distance greater than d_{\min} , the

35 risk of error is very low and in this case the output y is projected onto the edge of the constellation.

More precisely, using an MAQ 64 as a modulation example, it is known that the distance between an axis and the external points is 78 (where 2δ is the distance between two consecutive points). According to the 5 approach suggested above, when the distance of the sample considered exceeds $78 + d_{\min}$, the sample is pulled back to a distance of 78 along the axis (or axes) considered. In other words:

10 if $Dx > 78 + d_{\min}$, then $Dx = 78$
 if $Dy > 78 + d_{\min}$, then $Dy = 78$

The rules for y_{feedback} and for the error e are then applied in the same way.

15 The user may fix the value of d_{\min} . It would also be possible to make an automatic search for an optimum value of d_{\min} , using an iterative algorithm.

The second proposed embodiment illustrated in figure 4 consists of calculating the confidence using the following equation:

$$C_y = \frac{\text{Min}(dx^+, dy^-, dx^-, dy^+)}{\Delta}$$

20 Advantageously, the rule proposed according to this second method is as follows:

$$\begin{aligned} - Y_{\text{feedback}} &= C_y \cdot y_{\text{estimated}} + (1-C_y) \cdot y \\ - \text{error} &= C_y \cdot (y_{\text{estimated}} - y) \end{aligned}$$

25 The equation for the calculation of y_{feedback} may be generalized as follows:

$$Y_{\text{feedback}} = g_1(C_y) \cdot y_{\text{estimated}} + (1-g_1(C_y)) \cdot y$$

where g_1 and g_2 are non-linear predetermined functions preferably designed to give priority to high confidence values, and to correspondingly reduce low confidence values. In particular, it may be a sigmoid function like functions used in neuron systems. Functions g_1 and g_2 may of course be equal: $g_1=g_2=g$.

Note that the previous equation is obtained again when g is the identity function.

In the same way, the error calculation may be generalized by:

$$\text{Error} = f(c_i)(y_{\text{estimated}} - y)$$

where f is also a predetermined function, in the same way as functions g_1 and g_2 (identity, sigmoid functions,...).

Points located outside the constellation can once again be treated differently, using the following projection (case of an MAQ 64):

- 10 if $D_x > 78$ then $D_x = 78$
- if $D_y > 78$ then $D_y = 78$

The rule suggested above is then used.

Obviously, other embodiments could be envisaged. In particular, the approaches defined above could be 15 "combined", for including several squares (or circles) in the embodiment illustrated in figure 3, corresponding to several thresholds, with a different processing being applied for each of these thresholds.

It would also be possible to apply the first rule 20 when the distance is less than d_{\min} , and the second rule when it is greater than or equal to d_{\min} .

Figures 5A and 5B illustrate simulations demonstrating the efficiency of the technique according to the invention.

25 The simulation context is derived from the document entitled "Association des fonctions d'égalisation, de synchronisation et de décodage canal pour les modulations à grande efficacité spectrale" (Association of equalization, synchronization and channel decoding 30 functions for modulations with high spectral efficiency) by D. Mottier (INSA thesis in Rennes, November 1997). This describes the transmission of an MAQ 64 modulation, using the DVB-cable scheme through two different stationary channels (figures 5A and 5B).

The first (figure 5A) corresponds to a slightly disturbed channel comprising a 10 dB echo at 30 Ts. The second channel (figure 5B) is a very strongly disturbed channel and therefore very difficult to equalize, defined by the following pulse response:

$$H = (0.8264; -0.1653; 0.8512; 0.1636; 0.81)$$

For these two channels, a disturbance 51 was deliberately added during the equalizer tracking phase in order to generate an error propagation phenomenon in 10 the case 52 of the conventional DFE. All illustrated 15 equalizers, optimized by an LMS-DD, converged using a learning sequence.

The results shown were obtained with an optimum DFE 53 (supervised DFE), which is a "virtual" equalizer for 15 which the emitted data are used as input data to the feedback filter and the algorithm, and which is usually considered as being the DFE with the optimum performances with which a real equalizer should be compared.

20 These two figures show that the conventional DFE 52 very quickly starts propagating errors when the non-stationarity 51 occurs. On the other hand, the technique according to the invention 54 (WDFE, or weighted DFE) remains stable in both of these cases. In this case, we 25 will use the first embodiment described with a value of $d_{mn} = 0.6$.

Figure 5C illustrates the same situation as figure 5B, when the second described embodiment is used. Once again, it can be seen that there is no divergence of 30 curve 54, unlike the conventional DFE 52.

Figure 5D shows an example of processing an MAQ 16 modulation submitted successively to:

- noise 55 equal to 16 dB (at the moment corresponding to iteration 10 000);
- 35 - an echo 56 (at the moment corresponding to iteration 20 000).

Once again, there is no divergence due to propagation of errors despite these two large disturbances.

The four examples above are applicable to the tracking phase, since the convergence phase has previously been carried out (for example using a reference sequence). However, in the example shown in figure 5E, it can be shown that a self-learning operation could be implemented according to the invention. An MAQ 16 modulation is used in this case to which noise of 30 dB is applied. The convergence and tracking phases are performed using the second embodiment.

According to another approach that can give an even better efficiency, the distance is no longer calculated globally, but is calculated independently along each axis as illustrated in figure 4. In this case, the equations given above are applied independently along each axis.

It is possible that a point does not respect an equation, even though one of these two components (I or Q) does respect it. The result is an increase in the calculation noise and a degradation of the performances compared with the case in which the axes are treated separately.

Thus in the example shown in figure 6, which is a variant of the method shown in figure 4, it is found that the global confidence C_y is zero but:

- along axis I : CI_y is good
- along axis Q : $CO_y=0$

Therefore, it is proposed to carry out the following two independent confidence calculations:

$$CI_y = \min(dx', dx^-)/\Delta$$

$$CO_y = \min(dy', dy^-)/\Delta$$

These two confidence values are used in the same way as the previous method:

$$Y_{\text{feedback}I} = CI_y(yI') + (1-CI_y)(yI)$$

$$Y_{\text{feedback}Q} = CQ_y(yQ') + (1-CQ_y)(yQ)$$

and

5 errorI = CI_y(yI' - yI)
 errorQ = CQ_y(yQ' - yQ)

Like described previously, these equations may be generalized by using functions, which purpose preferably is to reinforce high confidences and to reduce the effect of low confidences. For example, they may be
 10 sigmoid functions. These functions (g_1, g_2, g_3, g_4, f_1 and f_2) may be different from one another, or not.

The equations may then be written:

$$Y_{\text{feedback}I} = g_1(CI_y)(yI') + (1-g_1(CI_y))(yI)$$

$$Y_{\text{feedback}Q} = g_2(CQ_y)(yQ') + (1-g_2(CQ_y))(yQ)$$

15 Where yI' and yQ' are the two components of said most probable symbol;

yI and yQ are the two components of said equalized data;

and $\text{error}I = f_1(CI_y)(yI' - yI)$

20 $\text{error}Q = f_2(CQ_y)(yQ' - yQ)$

where f_1 and f_2 are predetermined functions.

Similarly, for the first equation discussed, it can be checked that the distance is within the square with the dimension d_{\min} , along each axis.

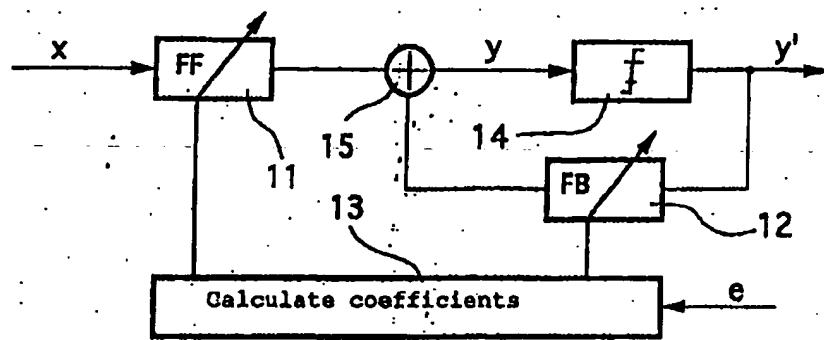


Fig. 1

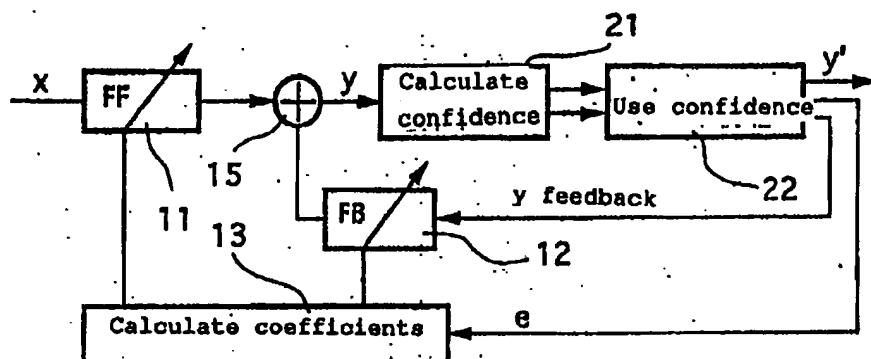


Fig. 2

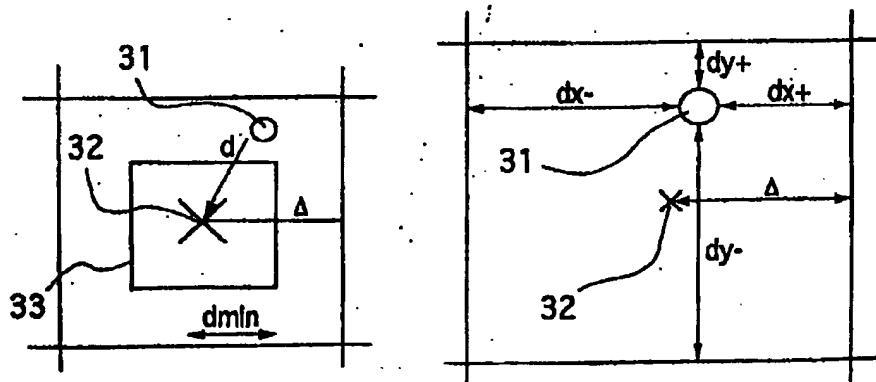


Fig. 3

Fig. 4

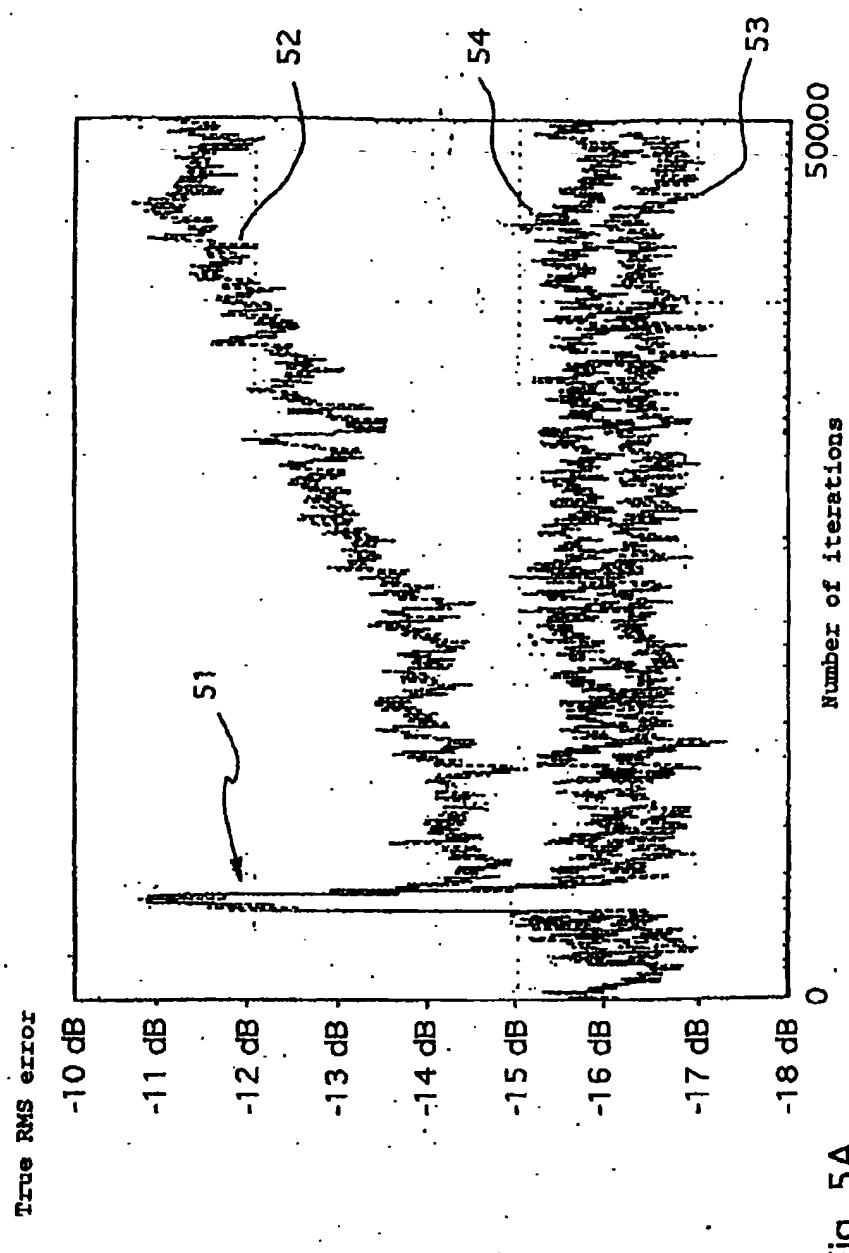


Fig. 5A

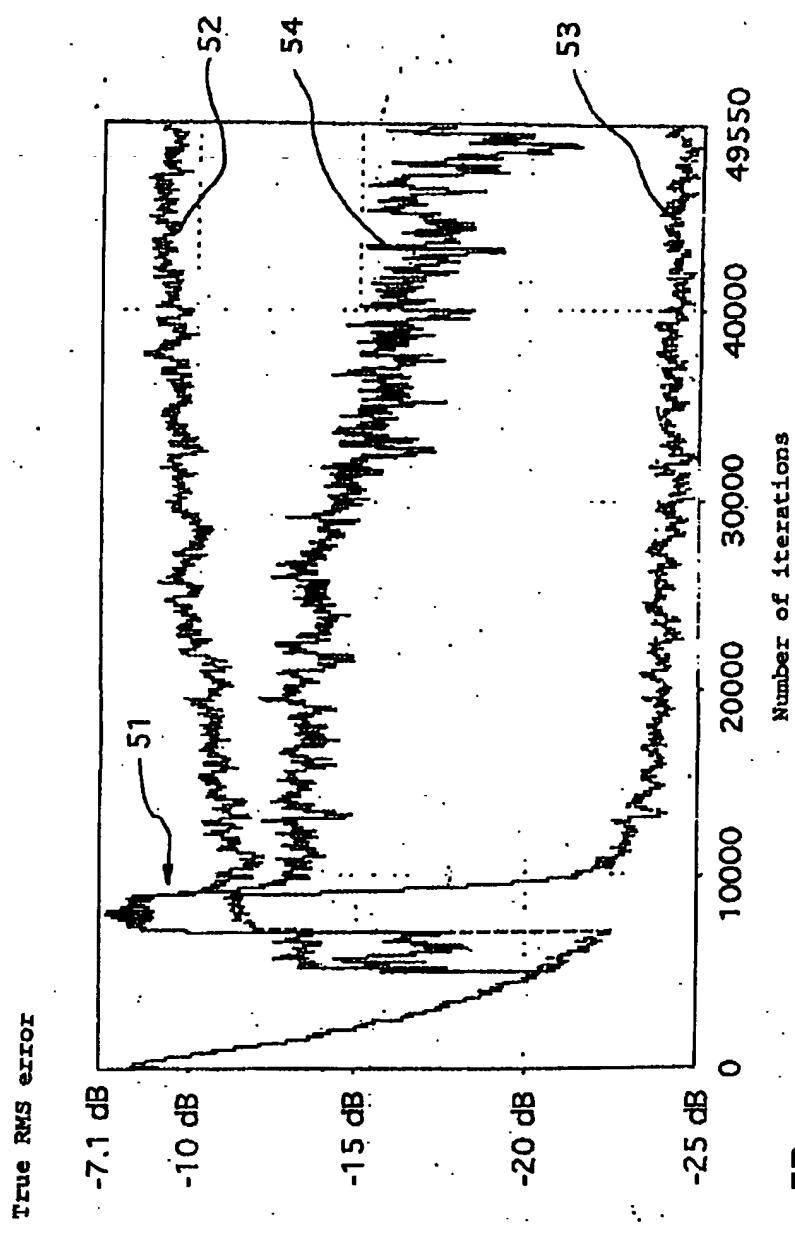


Fig. 5B

(40) 00-295145 (P2000-29JL8

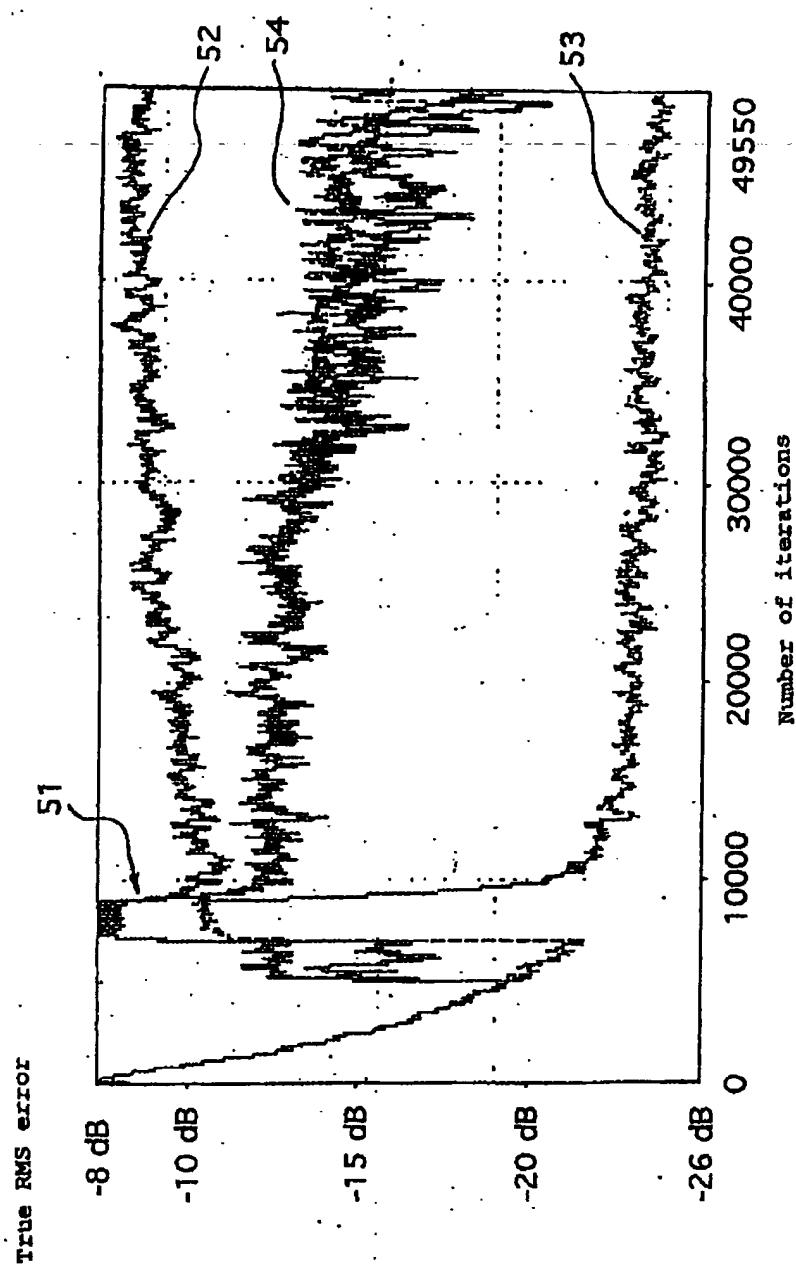


Fig. 5C

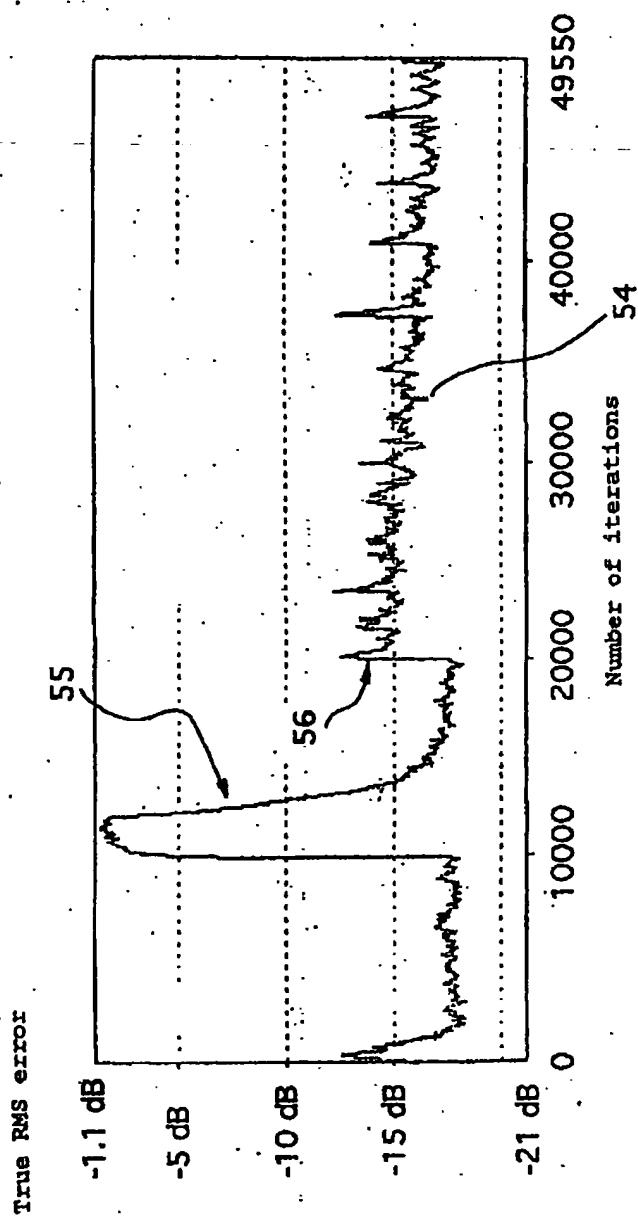


Fig. 5D

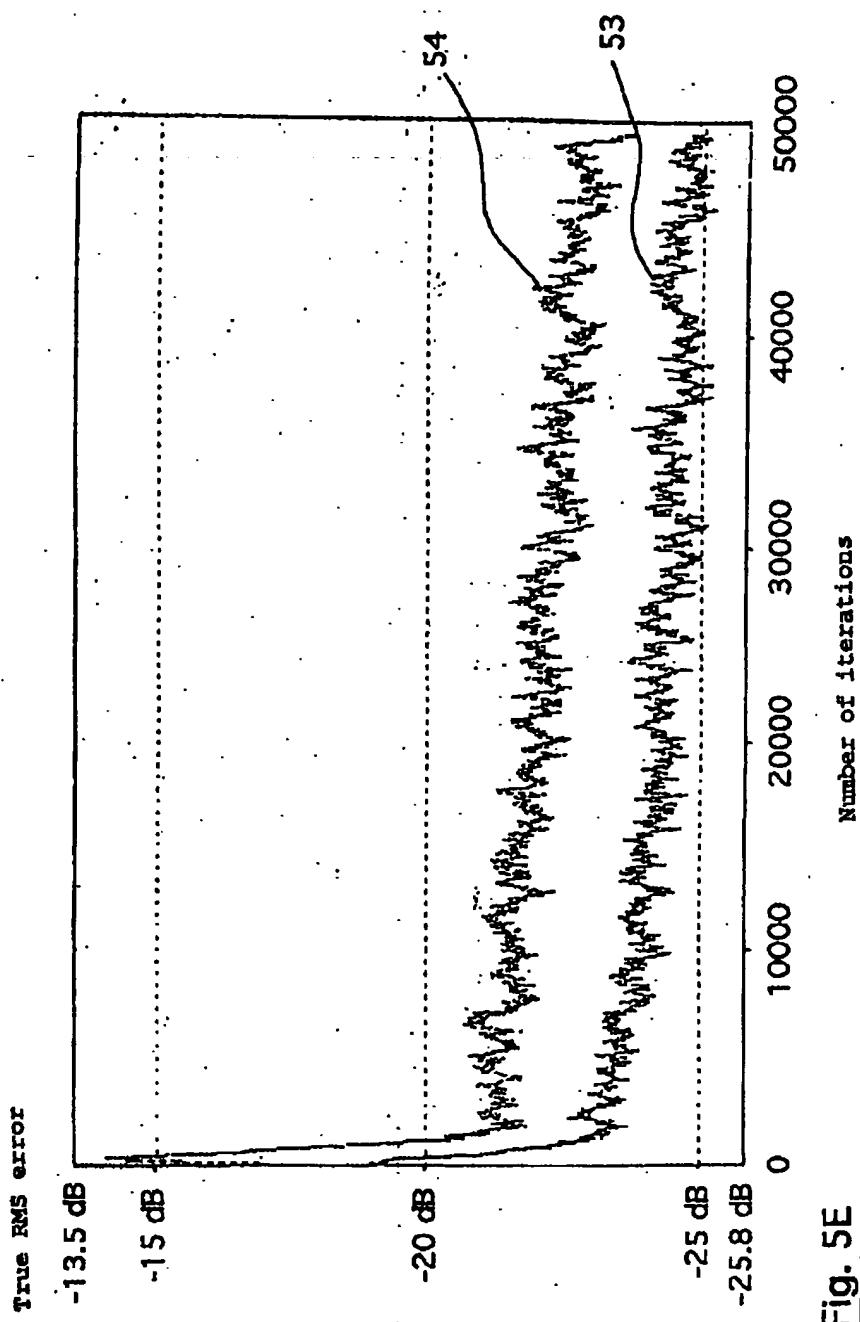


Fig. 5E

Number of iterations

1. Abstract

The invention relates to a decision feedback equalizer comprising a forward filter (FF) (11) and a feedback filter (FB) (12) in which the filter coefficients (13) are determined so as to optimize a predetermined quality criterion. The said equalizer receives input data (x) applied to the said forward filter (FF), and outputs equalized data (y') corresponding to the sum of the outputs from the said forward filter (FF) and the said feedback filter (FB). According to the invention, the weighted data (y_{feedback}) are fed into the said feedback filter (FB), the value of these data taking account of the said equalized data (y) and corresponding confidence information. Therefore, the invention introduces weighting that depends on the confidence, and is a means of efficiently reducing the propagation of errors.

2. Representative Drawing

Figure 2